

ACTES DE LA RÉSERVE DE CAMARGUE

N° 38, 1970-1971

CONTAMINATION DES MILIEUX AQUATIQUES CAMARGUAIS PAR LES RESIDUS DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES

par P. HEURTEAUX, R. MESTRES et A. VAQUER *

*Centre d'Ecologie de Camargue, Le Sambuc, 13200 Arles
et Faculté de Pharmacie de Montpellier*

La pratique intensive et extensive de l'irrigation des cultures en Camargue nécessite l'introduction à l'intérieur du delta d'un volume d'eau du Rhône très important.

Les rizières qui couvrent actuellement environ 10 000 ha entre les deux bras du fleuve consomment entre 20 000 et 35 000 m³ d'eau par ha et par an suivant le mode d'arrosage utilisé (arrosage classique ou « à la surverse »). Parmi les 3 500 ha de vignes, celles qui sont installées en terrain limoneux sont submergées en novembre-décembre, pour lutter contre le phylloxéra et accessoirement dessaler les terres ; elles consomment entre 7 000 et 10 000 m³ d'eau par ha et par an. Les cultures fourragères (prairies, luzernières, maïs), les cultures maraîchères et les vergers sont occasionnellement irrigués en période de sécheresse.

Le volume d'eau nécessaire à l'irrigation représente environ 400 millions de m³ par an. Une partie de cette eau est reprise par l'évapotranspiration ou stockée dans la nappe aquifère, le reste est recueilli par les canaux de drainage. Certains de ces canaux sont équipés de stations d'assainissement qui permettent de rejeter au Rhône ou à la mer, en tout ou en partie, les eaux de drainage, mais les canaux de Roquemaure et de Fumemorte, ainsi que ceux des propriétés riveraines sont dépourvus de telles

(*) Avec la collaboration technique de Ch. Chevallier, Cl. Espinoza et J. Lefebvre.

stations, et les retours d'irrigation des quelque 2 200 ha de rizières et 500 ha de vignes qu'ils drainent, s'écoulent au Vaccarès, si bien que le système des étangs centraux camarguais (Vaccarès et étangs inférieurs) ne peut échapper à une certaine contamination par les déchets véhiculés par le Rhône (résidus industriels, hydrocarbures, détergents, microorganismes, radioéléments) et par les résidus de produits phytosanitaires et d'engrais utilisés en agriculture à l'intérieur du delta.

Pour déterminer la nature et l'importance de cette contamination, une collaboration s'est établie entre le Centre d'Ecologie de Camargue (CNRS) et divers organismes scientifiques spécialisés dans l'analyse des différents polluants : Centre d'Etudes et de Recherches Hydrogéologiques (Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier) pour les détergents, Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache (CEA) pour les radioéléments, Laboratoire de Chimie Appliqué à l'Expertise de la Faculté de Pharmacie de Montpellier pour les pesticides organiques et les hydrocarbures.

Le présent travail fait le point des résultats acquis en ce qui concerne la contamination par les résidus de pesticides, au terme de deux années de recherches.

I/ LES TRAITEMENTS PHYTOSANITAIRES PRATIQUES EN AGRICULTURE CAMARGUAISE.

Toutes les cultures camarguaises sont traitées et les quantités de pesticides utilisées se chiffrent par centaines de tonnes (entre 300 et 350) pour les seuls traitements des rizières et du vignoble.

1°) RIZICULTURE.

A partir de 1962, les semis directs et les traitements herbicides et algicides ont pris le pas sur le repiquage et le désherbage manuel.

Le *Molinate* (ou *Ordram*) est employé systématiquement en début de culture (fin avril). C'est un herbicide spécifique des espèces du genre *Panicum* L (*Echinochloa* P.B.). La dose moyenne actuelle est de 6 à 7 litres, soit 4,5 à 5,2 kg de matière active par ha.

Le *Propanil* (ou *Stam F 34* ou *G 24* ou *Surcopur*) est employé en plus de l'*Ordram* pour lutter contre les mêmes espèces du genre *Panicum*. Il présente en outre l'avantage de retarder la croissance des plantes adventices autres que les graminées. Le traitement se fait en juin, à la dose moyenne de 15 l/ha, soit, suivant la formulation, 3,7 à 5,2 kg de matière active par ha ; une tendance nouvelle se dégage préconisant d'augmenter la dose.

Jusqu'en 1970, le 2,4,5 TP (ou *Kuron*, ou *Phenoprop* ou *Phenormone*) était fréquemment utilisé dans le courant de juin, à la dose de 1,3 à 1,5 kg de matière active par ha pour lutter contre les espèces des genres *Plantago*, *Phragmites*, *Scirpus*, *Typha* ; mais cet herbicide, phytotoxique pour de nombreuses espèces sauvages et cultivées, est d'un emploi difficile et de

nombreux riziculteurs l'ont remplacé par le 2,4 D ou le MCPA ou le MCPP à la dose de 0,6 kg de matière active à l'hectare.

Contre les algues des rizières sont essentiellement utilisés :

- le *nabame* (spécialité commerciale : Nabasan), la dose préconisée est de 8 kg/ha ;
- le *sulfate de cuivre*. La dose préconisée est de 1 kg/ha, mais la dose réellement administrée est très variable d'un agriculteur à l'autre.

En outre, un traitement insecticide est fréquemment appliqué (sur au moins 80 % des rizières) pour lutter contre les « vers des rizières » (larves de Chironomides : *Chironomus thummi thummi* Kieff. et *Cricotopus trifasciatus* Panzer) et les *Triops cancriformis* Bosc. Il y a diverses formulations utilisant surtout le *parathion* à la dose de 30 à 100 g de matière active à l'hectare, le *lindane* (isomère gamma de HCH) à la dose de 40 à 120 g de matière active à l'hectare ou une *association de DDT, de lindane et de polychlorobiphényles* (1).

Depuis 1971, un nouveau ravageur du riz cause des dégâts aux cultures. Il s'agit de la larve d'un lépidoptère : *Chilo suppressalis* Walker. Les moyens de lutte mis en jeu contre cette noctuelle sont encore assez mal précisés. Les pesticides les plus employés sont des organophosphorés et les doses varient beaucoup d'un utilisateur à l'autre. En 1971, le *parathion* a été largement utilisé. En 1972, les organismes agricoles responsables ont préconisé l'emploi du *fénitrothion* et du *trichlorphon* ; il semble que leurs directives aient été suivies par de nombreux riziculteurs, mais certains sont restés fidèles au *parathion*, d'autres enfin ont renoncé à tout traitement.

2°) VITICULTURE.

Il existe deux types principaux de traitements, ceux destinés à la destruction des champignons parasites et ceux destinés à lutter contre les insectes.

— *Les traitements fongicides.*

Contre le Mildiou (*Plasmopora viticola*) on utilise le *cuivre* sous forme d'oxychlorure ou de sulfate, associé à des pesticides du groupe des dithiocarbamates : le *manèbe*, le *zinèbe*, le *mancozèbe* et le *carbatène*. Plusieurs traitements successifs sont nécessaires ; leur nombre dépend de l'humidité atmosphérique. Chaque traitement représente 300 g de cuivre métal à l'hectare, soit un apport annuel de plusieurs kilogrammes. On utilise parfois contre le mildiou un fongicide de synthèse du groupe des phthalimides : le *folpel*.

Contre l'Oïdium (*Uncinula Necator*), on utilise la *fleur de soufre*, plusieurs applications sont nécessaires et chaque traitement représente en moyenne 2,5 kg de soufre à l'hectare. On utilise également un fongicide

(1) Les polychlorobiphényles (PCB) sont des substances organochlorées de synthèse à usages multiples. Ils entrent dans la composition de nombreux produits (matières plastiques souples, peintures, vernis, asphaltes, etc.). Ils sont utilisés pour leur propriété adjuvante à l'égard du lindane dans la spécialité phytosanitaire que nous signalons (Panzertox) mais qui ne figure pas dans l'Index des produits phytosanitaires de l'ACTA.

de synthèse du groupe des carbamates : le *benomyl* également actif contre la pourriture grise (*Botrytis cinerea* Pers.).

Contre l'agent de l'excoriose (*Phomopsis viticola* Sacc.), on traite à l'arsénite de sodium à raison de 1 à 2 kg par ha, ce qui représente de 0,6 à 1,2 kg d'arsenic par ha.

— *Les traitements insecticides.*

On lutte contre les insectes ravageurs des vignes avec un insecticide minéral, l'arséniate di et triplombique (à raison de 200 à 600 g d'As et de 0,6 à 1,7 kg de Pb à l'ha), avec de nombreux pesticides de synthèse du groupe des organophosphorés (*parathion méthyl*, *carbophénouthion*, *fénitrothion*, *diméthoate*, *prothoate*, *azinphos méthyl*), du groupe des organochlorés (*tétradifon*, *dieldrine*), du groupe des carbamates (*methomyl*), et avec des huiles jaunes (mélange d'huiles de pétrole et de dinitro-orthocrésol DNOC ou de dinitro-butylphenol DNPB).

— *Les traitements herbicides.*

Tendent de plus en plus à remplacer le désherbage mécanique. Les désherbants chimiques utilisés appartiennent au groupe des triazines et des triazoles ; le plus souvent il s'agit de la *simazine* associée à l'aminotriazole à raison de 1,5 kg de matière active de chaque produit à l'hectare.

3°) AUTRES CULTURES.

Les cultures camarguaises autres que le riz et la vigne représentent environ 7 000 ha. Il s'agit pour l'essentiel de *céréales sèches* (blé, orge), de vergers et de cultures maraîchères et fourragères. Ces cultures ne sont pas systématiquement traitées comme le sont le riz et la vigne, mais l'action de ravageurs implique souvent l'usage d'insecticides et de fongicides de synthèse. Ainsi les luzernières sont assez fréquemment traitées au *polychlorocamphane*, en 1970, 4 000 l d'une spécialité à base de cet insecticide organochloré ont été vendus à Arles. Les vergers subissent des traitements voisins de ceux des vignes. L'*aldrine* a été utilisé pour la désinfection des sols céréaliers, l'*heptachlore* et le *DDT* le sont dans les champs de maïs.

Cet exposé des traitements phytosanitaires appliqués aux cultures camarguaises fait apparaître qu'une grande variété de pesticides est employée, que certains de ces produits le sont plus massivement que d'autres et que rémanence et toxicité sont très variables.

Le drainage vers les étangs centraux camarguais de retours d'irrigation des rizières et des prés, de colatures de la submersion automnale des vignes et de percolats d'origine pluviale pouvant avoir dissous des résidus contenus dans les terrains agricoles, permet d'envisager une certaine contamination des milieux naturels aquatiques et des biocoenoses qui leur sont inféodées, par les résidus de produits phytosanitaires.

C'est cet aspect du problème que nous allons aborder maintenant.

II/ CHOIX DES STATIONS ET DES DATES DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS. NATURE DES ECHANTILLONS. METHODES DE PRELEVEMENT ET D'ETUDE.

Les analyses ont été faites par la chromatographie en phase gazeuse ; cette méthode étant coûteuse et longue, il a fallu opérer une sélection très stricte des stations et des dates de prélèvement d'échantillons pour obtenir le maximum de renseignements avec le minimum d'analyses.

1°) LES STATIONS (fig. 1).

Canaux.

- *Roubine Petite Montlong* (irrigation) : irrigue entre autres les cultures du Mas de St-Germain.
- *Roubine de St-Germain* (drainage) : draine au Vaccarès les colatures de 25 ha de rizières.
- *Canal de Roquemaure* et *égout de Fumemorte* (drainage) : drainent au Vaccarès les colatures de 1 800 ha de rizières.

Etangs.

- *Vaccarès, Lion, Impérial, Gaze du Phare de La Gacholle, Tampan.*

Marais.

- *Baisses de Saxe et St-Seren* de la Tour du Valat : Importantes remises pour les canards, l'un et l'autre alimentés en eau du Rhône pendant la période d'assèchement, le premier pour des raisons cynégétiques, le second pour des raisons scientifiques (capture et baguage d'oiseaux d'eau).

2°) NATURE DES ÉCHANTILLONS. MÉTHODES ET DATES DE PRÉLÈVEMENT.

Les analyses ont porté sur l'eau, des végétaux aquatiques, des sédiments et sur quelques animaux.

En ce qui concerne les prélèvements d'échantillons d'eau, on a procédé différemment suivant qu'il s'agissait d'eaux courantes (canaux) ou d'eaux stagnantes (étangs et marais).

Pour les canaux, la meilleure méthode consistait à effectuer les prélèvements en continu. Cela a été réalisé pour les canaux d'irrigation et de drainage de St-Germain, mais n'a pas pu l'être pour les canaux de Fumemorte, de Roquemaure et de la Petite Montlong dans lesquels on a prélevé deux échantillons par jour (9 h - 18 h) pendant la période des traitements des rizières et un échantillon (9 h) en dehors de ces périodes. Les prises quotidiennes ont été mélangées pour obtenir des échantillons moyens mensuels sur lesquels ont porté les analyses.

Pour les marais et les étangs, on a prélevé ponctuellement dans le temps des échantillons de manière à ce qu'ils soient représentatifs de l'ensemble de chaque plan d'eau. Les dates de prélèvement ont été fixées en fonction des calendriers culturels pour 1971 et 1972. Ainsi pour le Vaccarès, étang qui a été suivi avec le plus de régularité, on a opéré ces prélèvements :

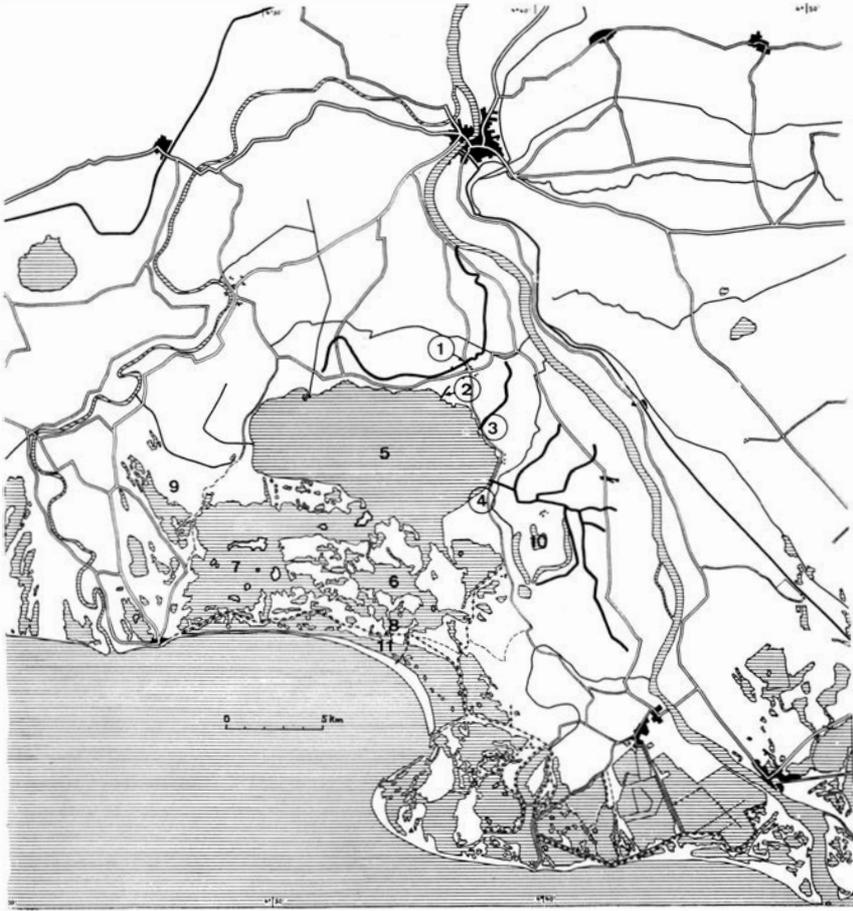


Figure 1. — Stations de prélèvement des échantillons pour analyses.

1. Canal d'irrigation de la Petite Montlong (à Villeneuve et au mas de St-Germain).
2. Canal de drainage de St-Germain (à son embouchure dans le Vaccarès).
3. Canal de drainage de Roquemaure (à son embouchure dans le Vaccarès).
4. Canal de drainage de Fumemorte (à son embouchure dans le Vaccarès).
5. Etang du Vaccarès.
6. Etang du Lion.
7. Etang de l'Impérial.
8. Gaze du Phare de la Gacholle.
9. Marais de Saxi.
10. Marais du St-Seren de la Tour du Valat.
11. Etang du Tampan.

- avant la campagne rizicole de 1971 (29 mars 1971) ;
- après les traitements des semis (24 juin 1971) ;
- à la fin de la campagne rizicole (1^{er} octobre 1971) ;
- après la submersion des vignes (26 janvier 1972) ;
- avant la campagne rizicole de 1972 (23 mars 1972) ;
- après les traitements des semis (27 juin 1972) ;
- après les traitements contre la première génération de pyrale (9 août 1972) ;
- à la fin de la campagne rizicole (28 septembre 1972).

Sédiments.

Les sédiments analysés proviennent du fond des canaux de Fumemorte et de St-Germain, du Vaccarès et des marais de Saxi et du St-Seren.

Végétaux aquatiques.

Il s'agit de *Typha angustifolia*, *Phragmites communis*, *Scirpus palustris*, *Juncus maritimus*, et surtout *Polamogeton pectinatus* pour les végétaux supérieurs, et d'algues vertes appartenant surtout au genre *Enteromorpha* pour les végétaux inférieurs. Ces végétaux proviennent des canaux de St-Germain et de Fumemorte ainsi que du Vaccarès.

Faune.

Dans l'état actuel de l'avancement de nos travaux, les analyses portant sur les animaux sont encore rares. Nous n'avons de résultats sûrs que pour une carpe du Vaccarès et un œuf de mouette rieuse, analysés par S. ILLES qui a bien voulu nous communiquer ses résultats.

III/ INTERPRETATION DES ANALYSES CHROMATOGRAPHIQUES.

1^o) EAUX DES CANAUX, DES ÉTANGS ET MARAIS (tableaux I à VI).

Au terme de ces deux premières années de travail, on peut dire que tous les milieux aquatiques camarguais recevant des eaux de drainage des cultures ou même des eaux d'irrigation, contiennent des résidus de produits phytosanitaires. Le plus souvent, les doses décelées au niveau de l'eau sont infimes, rarement supérieures au milligramme par mètre cube (ppb). La nature et la teneur des pesticides organiques de synthèse présents dans l'eau sont variables dans le temps et l'espace. Ce sont évidemment les produits plus rémanents et ceux qui font l'objet d'apports massifs et renouvelés qui sont le plus souvent révélés par l'analyse. D'autres, résultant d'apports sporadiques, se diluent dans la masse d'eau des étangs et ne sont qu'occasionnellement détectés. D'autres enfin ne sont jamais décelés dans l'eau, mais leur présence dans le milieu est attestée par leur détection dans des organismes vivants où ils se sont concentrés.

Les produits les plus massivement employés sont les phytotoxiques : molinate, propanil, nabame, 2,4 D, MCPA, MCPP. Les résidus de molinate et de nabame ou leurs métabolites, dont l'analyse met en œuvre des techniques spéciales, n'ont pas pu être recherchés jusqu'à présent. Les méthodes d'analyse du propanil et des résidus que cet herbicide libère dans le milieu

sont en cours d'étude au Laboratoire de Chimie Appliquée à l'Expertise de la Faculté de Pharmacie de Montpellier. Les premiers résultats sembleraient montrer que le propanil s'hydrolyse en 3, 4-dichloroaniline et que cette substance est présente dans l'eau des milieux naturels (V. IM-UDOM Com. or.).

La préparation des échantillons pour permettre la chromatographie gazeuse des herbicides du type chlorophenoxy (2,4 D, MCPA, MCPP, 2,4,5 TP) étant laborieuse, nous n'avons pu en analyser, faute de temps, qu'un petit nombre et les résultats concernant ces herbicides sont très fragmentaires. On en trouve (surtout le MCPP) dans les canaux de Roquemaure et de Fumemorte en juin, en période de traitement. Le même mois, le 2,4,5 TP est présent dans les baisses de Saxi et dans le canal de Roquemaure. Dans l'eau du Vaccarès on ne détecte pas d'herbicides du type chlorophenoxy, ce qui ne signifie nullement qu'ils ne s'y trouvent pas en quantités infinitésimales.

Parmi les résidus que nous avons systématiquement recherchés, les plus fréquemment détectés dans les eaux camarguaises proviennent des isomères alpha et gamma de l'HCH et des PCB. La présence de résidus de parathion, de fenitrothion et de DDT n'est pas exceptionnelle.

Il est difficile de faire, avec certitude, la part qui revient au Rhône lui-même et aux traitements agricoles dans la contamination des milieux. Les analyses de l'eau du fleuve véhiculée par les canaux d'irrigation ne peuvent guère nous renseigner sur ce point car, de toute évidence, ces canaux sont pollués sur leur parcours par des retours d'irrigation et des percolats de rizières ou par propagation aérienne lors des traitements. Ainsi, on trouve de fortes doses de parathion et d'autres organophosphorés, incontestablement d'origine intérieure au delta, dans le canal de la Petite Montlong. De même, le parathion présent dans le marais de St-Seren début octobre 1971 ne peut provenir que du canal de l'Aube de Bouic utilisé à cette époque pour la remise en eau du marais. Les analyses d'eau puisée directement dans le fleuve révèlent assez régulièrement la présence de gamma et alpha HCH et occasionnellement celle de PCB (tableau I).

TABLEAU I

Résidus organochlorés de synthèse détectés dans l'eau du Rhône.

| mg/m ³ | Mars 1971 | Avril 1972 | Mai 1972 | Juin 1972 | Juillet 1972 |
|-------------------|--------------|---------------|-------------|--------------|-----------------|
| α HCH | 0,12 | | | 0,02 | 0,06 |
| γ HCH | 0,07 | | | 0,02 | 0,03 |
| PCB | | | | | 0,3 |

Cases sans indication = produits non détectés.

Sans toutefois pouvoir se montrer catégorique, on peut dire que le Rhône intervient directement dans la contamination des milieux camarguais par apport d'HCH et, dans une moindre mesure, de PCB, les autres résidus détectés étant pour l'essentiel d'origine agricole.

H C H.

L'HCH technique est un ensemble de stéréoisomères de l'hexachloro-1,2,3,4,5,6 cyclohexane. Les isomères alpha et gamma représentent respectivement 80 et 15 % du total, mais le premier étant plus volatil que le second, ces proportions ne sont pas retrouvées dans les résidus d'HCH technique dissous dans l'eau. Sans doute cette volatilité différente explique-t-elle pourquoi le rapport des teneurs en isomères alpha et gamma est très souvent plus grand dans les eaux provenant directement du Rhône que dans les eaux des canaux de drainage et des étangs. Mais la volatilité n'intervient pas seule. L'élévation de la teneur relative en isomère gamma est due à un apport endogène de lindane. Cet apport d'origine rizicole est bien mis en évidence dans le canal de drainage de St-Germain, où la teneur en isomère gamma passe de 0,03 mg par m³ d'eau en période normale à 0,3 mg/m³ lors d'une vidange volontaire des clos de riz, fin mai 1972, peu après le traitement au lindane des « vers de rizières ». Cette multiplication par 10 de la teneur des résidus de gamma HCH est d'autant plus remarquable qu'elle est synchronisée d'une augmentation du volume des eaux de drainage. Il est à noter toutefois que l'apport endogène de lindane ne s'accompagne pas systématiquement d'une augmentation en valeur absolue de la teneur en isomère gamma dans les eaux de drainage par rapport à celle rencontrée dans l'eau d'irrigation. Il est même très fréquent d'en détecter moins à la sortie qu'à l'entrée des rizières. Ce phénomène, contradictoire en apparence, peut s'expliquer par la destruction et par la rétention partielles du produit pendant son passage sur les rizières (absorption par les végétaux, fixation provisoire dans le sol) ; il peut s'expliquer aussi par la dilution de la charge polluante des retours d'irrigation dans les eaux de ruissellement et les percolats de terres incultes drainées par les canaux.

Les résidus de alpha et gamma HCH charriés par les canaux de drainage se retrouvent dans le Vaccarès à des doses infinitésimales à la limite des possibilités de détection. Pendant l'hiver et le printemps 1972, ils ne sont plus décelés dans l'étang dont le volume a considérablement augmenté du fait des pluies diluviennes du premier trimestre de 1972. D'ailleurs pendant cette période de fortes précipitations, on ne les décele pas non plus dans les canaux de drainage. Il faut attendre les traitements des semis de la campagne rizicole 1972, pour que le Vaccarès révèle à nouveau la présence de ces organochlorés, notamment de gamma HCH qui atteint des concentrations plus fortes qu'en 1971.

Alpha et gamma HCH ne sont généralement pas détectés dans les étangs inférieurs. Il est probable que les apports déjà très faibles du Vaccarès sont dilués dans la masse d'eau de ces étangs et que les doses présentes restent inférieures aux limites de détection. Signalons toutefois des traces de gamma HCH dans l'Impérial fin juin 1971 et dans la gaze du Phare de la Gacholle fin janvier 1972. Dans le premier cas, la pollution est imputable aux apports directs de colatures dans l'étang, dans le second, elle semble due à l'influence de l'étang du Tampan qui, par le canal du Versadou, reçoit des eaux de drainage du Bassin du Japon.

En résumé, on peut dire que l'isomère alpha de l'HCH présent dans les eaux camarguaises est essentiellement d'origine rhodanienne. L'HCH technique ayant fait l'objet d'un retrait d'homologation les résidus d'alpha HCH ne devraient plus se rencontrer dans les années à venir après épuisement des stocks et si les industriels producteurs de lindane s'efforcent de réduire les résidus que leurs unités de production laissent échapper dans le Rhône et ses affluents.

L'isomère gamma a une double origine rhodanienne et agricole.

P C B.

Les polychlorobiphényles (PCB) sont assez fréquemment représentés dans les eaux camarguaises, souvent à des doses relativement importantes. Ainsi en mars-avril 1971, avant tout traitement rizicole, le Vaccarès et ses étangs satellites, ainsi que certains marais, en contiennent plusieurs mg/m³ d'eau, puis les teneurs diminuent au cours de la campagne d'arrosage des rizières. Encore présents à l'état de traces à la fin juin, les PCB ne sont plus décelés début octobre 1971. En 1972, l'analyse ne les révélera jamais dans le Vaccarès. Le canal d'irrigation de la Petite Montlong et les canaux de drainage charrient des résidus importants de PCB pendant tout l'été en 1971 et 1972, c'est-à-dire bien après les traitements insecticides des jeunes semis de riz ; certes les sols fixent les PCB et peuvent les restituer progressivement aux eaux, mais ce lessivage n'est certainement pas suffisant pour justifier la présence de doses comprises entre 0,1 et 1,5 mg/m³.

La présence dans les eaux camarguaises de ces redoutables organochlorés que sont les PCB pose un certain nombre de problèmes. Nos analyses de l'eau du Rhône n'ont révélé qu'une seule fois leur présence, mais cela est suffisant pour penser que le fleuve contribue dans une certaine mesure à son introduction dans les milieux camarguais. A cet apport direct par le fleuve s'ajoute celui résultant des traitements agricoles. Nous avons déjà signalé l'action adjuvante des PCB à l'égard de certains pesticides

et l'emploi en riziculture d'un insecticide où leur présence est mentionnée. Pour s'assurer que cette spécialité est la seule à apporter des résidus de PCB, il serait nécessaire de vérifier l'absence de ces organochlorés dans les nombreuses autres spécialités commerciales employées en Camargue, dans la formulation desquelles ils ne sont pas mentionnés.

En résumé, l'origine agricole d'une partie des résidus de PCB présents dans les milieux camarguais ne fait pas de doute, mais l'apport direct par le Rhône n'est pas exclu. L'importance relative des deux sources de pollution ne peut pas être précisée. De même, la répartition des résidus de PCB dans le temps et l'espace, ainsi que les teneurs relatives d'un milieu à un autre posent des problèmes que nous n'avons pas encore réussi à élucider.

Parathion et Fénitrothion.

Le *parathion* est présent en mai 1971 dans les eaux de drainage, ce qui coïncide avec les traitements insecticides des jeunes semis. Il n'est plus détecté en juin, mais reparait dans les canaux de Fumemorte et de Roquemaure en juillet, août et septembre, ensuite les teneurs diminuent mais des traces persistent jusqu'en janvier 1972. En octobre 1971, à la fin de la campagne d'arrosage des rizières, les étangs qui reçoivent des colatures d'irrigation contiennent du parathion, c'est le cas du Vaccarès qui présente une teneur moyenne de 0,1 mg par m³, c'est le cas également de l'étang du Tampan qui reçoit les eaux du Versadou. En ce qui concerne le Vaccarès, il est à noter que malgré l'apport massif d'eau pluviale, des traces de parathion sont encore décelables fin janvier 1972 et que du fait des hauts niveaux qui favorisent les échanges d'eau entre le Vaccarès et les étangs inférieurs, ces derniers en contiennent également des traces au début de 1972, alors qu'en octobre 1971, ils en étaient exempts ou bien les teneurs y étaient inférieures au seuil de détection. L'importance relative des doses décelées dans les canaux de Fumemorte, de Roquemaure et dans le Vaccarès, et la persistance dans le temps des résidus de cet organophosphoré portent à penser que le parathion a été abondamment utilisé en 1971 pour lutter contre la pyrale du riz. A cet égard, il est significatif que le canal de St-Germain qui draine des rizières non traitées contre la chenille parasite ne contient plus de parathion après mai 1971. La présence de cet insecticide dans le canal en mai 1971, puis en mai 1972, coïncide avec le traitement contre les « vers de rizières ».

Au cours de l'été 1972, on n'a décelé le parathion ni dans les canaux de drainage, ni dans les étangs. Par contre en juillet et en août, le canal de Fumemorte a charrié d'assez fortes doses de fénitrothion. Comme pour le parathion, l'année précédente la présence de résidus de fénitrothion est à mettre en relation

avec les traitements contre la pyrale du riz effectués avec cet insecticide associé au trichlorfon. Ce dernier pesticide échappant à nos méthodes d'analyse, il est vraisemblable qu'il était présent aux côtés du fénitrothion dans les eaux que nous avons analysées. Le fénitrothion ne semble pas avoir contaminé gravement les étangs camarguais comme le parathion l'avait fait en 1971 ; on peut attribuer cela à sa moins grande rémanence et peut-être aussi à plus de modestie dans les traitements contre la pyrale.

TABLEAU II

Résidus de pesticides et de PCB détectés dans le canal de la Petite Montlong (irrigation) en 1971 et dans le canal d'irrigation de Saint-Germain, issu de la Petite Montlong, en 1972.

| mg/m ³ | α HCH | γ HCH | PCB | Parathion | Diéthion | Azynphos méthyl |
|-------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------------|
| 1971 | | | | | | |
| A | | | | | | |
| M | | | | | | |
| J | 0,02 | 0,01 | Traces | | 0,1 | 1,2 |
| J | 0,01 | 0,02 | 1,00 | 0,08 | | |
| A | 0,01 | | | 23 | | |
| S | 0,02 | | | 0,21 | | |
| O | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// |
| N | 0,15 | 0,10 | | | | |
| D | 0,07 | 0,04 | | | | |

| mg/m ³ | α HCH | γ HCH | PCB | DDT | DDE |
|-------------------|-------|-------|------|-------|-----|
| 1972 | | | | | |
| J | + | + | + | + | |
| J | 0,04 | 0,04 | + | ≠ 0,1 | + |
| A | 0,04 | 0,05 | 0,75 | | |

Cases sans indication = produits non détectés.

Cases barrées = pas d'échantillon.

+ = produit détecté mais non quantifié.

≠ = concentration voisine de, mais teneur maximale.

TABLEAU III

Résidus de pesticides et de PCB détectés dans le canal de Fumemorte (drainage).

| mg/m ³ | α HCH | γ HCH | PCB | Para-thion | Fenitro-thion | DDT | PCC | M CPP | 2,4 D |
|-------------------|--------|-------|-------|------------|---------------|-------|------|-------|-------|
| 1971 A | | 0,02 | 3 | | | | 12 | X X | X X |
| M | 0,03 | 0,08 | ≠ 0,5 | 0,05 | | 0,5 | | X X | X X |
| J | 0,01 | 0,02 | 0,1 | | | | | 15 | 0,03 |
| J | Traces | 0,01 | 0,3 | 0,07 | | | | X X | X X |
| A | 0,01 | | 0,1 | 0,07 | | | | X X | X X |
| S | 0,01 | | 1 | 0,01 | | | | X X | X X |
| O | | | | Traces | | | | X X | X X |
| N | 0,05 | + | | Traces | | | | X X | X X |
| D | | + | | | | | | X X | X X |
| 1972 J | | | | Traces | | | | X X | X X |
| F | | | | | | | | X X | X X |
| M | | | | | | | | X X | X X |
| A | //// | //// | //// | //// | //// | //// | //// | //// | //// |
| M | 0,01 | 0,07 | + | | | ≠ 1,1 | | X X | X X |
| J | < 0,01 | 0,06 | + | | | ≠ 0,1 | | X X | X X |
| J | 0,02 | 0,03 | 0,3 | | 0,08 | | | X X | X X |
| A | 0,03 | 0,04 | 0,9 | | 0,02 | | | X X | X X |
| S | 0,02 | 0,02 | 0,3 | | | | | X X | X X |

Cases sans indication = produits non détectés.

Cases barrées = pas d'échantillon.

Cases avec X X = produits non recherchés.

≠ = concentration voisine de, mais teneur maximale.

+ = produit détecté mais non quantifié.

TABLEAU IV

Résidus de pesticides et de PCB détectés dans le canal de Roquemaure (drainage).

| mg/m ³ | α HCH | γ HCH | PCB | Para- thion | Para- thion mé- thyl | DDT | PCC | M CPP | 2,4 D | 2,4,5 TP |
|-------------------|----------|----------|--------|----------------|-------------------------------|-----|-----|-------|-------|-------------|
| 1971 A | | 0,30 | 3 | | | | 30 | X X | X X | X X |
| M | Traces | 0,02 | 5 | 0,01 | 0,02 | 0,1 | | X X | X X | X X |
| J | 0,01 | 0,01 | Traces | | | | | 12 | 0,03 | 0,06 |
| J | 0,04 | 0,01 | 1,5 | 0,01 | | | | X X | X X | X X |
| A | Traces | 0,01 | 0,5 | 0,12 | | | | X X | X X | X X |
| S | | 0,01 | 0,6 | 0,03 | | | | X X | X X | X X |
| O | | | | 0,02 | | | | X X | X X | X X |
| N | 0,08 | 0,06 | | 0,01 | | | | X X | X X | X X |
| D | Traces | Traces | | Traces | | | | X X | X X | X X |
| 1972 J | | | | | | | | X X | X X | X X |
| F | | | | | | | | X X | X X | X X |
| M | | | | | | | | X X | X X | X X |
| A | 0,03 | 0,03 | 0,4 | | | | | X X | X X | X X |

Cases avec × × = produits non recherchés.

Cases sans indication = produits non détectés.

DDT.

Le DDT est encore abondamment utilisé dans les traitements rizi-
coles. Pourtant, on ne le détecte que rarement dans les eaux camarguaises,
mais toujours à des doses relativement élevées. En fait, le DDT et son mé-
tabolite le DDE doivent être plus fréquents qu'il apparaît dans nos résultats
d'analyses. Il n'est pas exclu en effet que ces organochlorés moins sensi-
bles à la détection que l'HCH par exemple nous aient échappé lorsqu'ils se
trouvaient à faible dose.

TABLEAU V

Résidus de pesticides et de PCB détectés dans le canal de St-Germain (drainage).

| mg/m ³ | α HCH | γ HCH | PCB | Parathion | Fenitrothion | DDT |
|-------------------|----------|----------|----------|-----------|--------------|----------|
| 1971 A | 0,03 | 0,01 | 1,2 | | | |
| M | 0,03 | 0,03 | + | + | | |
| J | | Traces | + | | Traces | |
| J | | 0,02 | | | | |
| A | | 0,02 | 0,6 | | | |
| S | | 0,01 | 0,8 | | | |
| O | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// |
| N | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// |
| D | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// |
| 1972 J | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// |
| F | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// | //////// |
| M | + | 0,02 | + | | | |
| A | 0,01 | 0,01 | | | | |
| M | 0,04 | 0,09 | 0,1 | 0,07 | | |
| J | Traces | 0,04 | | | | + |
| J | 0,01 | 0,03 | 0,2 | | | |
| A | 0,02 | 0,03 | 0,4 | | | |
| S | 0,01 | Traces | 0,6 | | | |

Cases sans indication = produit non détecté.
 + = produit détecté mais non quantifié.
 Cases barrées = pas d'échantillon.

Autres insecticides

Parmi les pesticides organiques occasionnellement détectés dans les eaux, certains proviennent des traitements viticoles. Ainsi en juin 1971, on détecte azinphos methyl et diéthion dans le canal de la Petite Montlong, vraisemblablement contaminée par voie aérienne à partir de vignes proches. On décèle, également en juin 1971, dans le canal de St-Germain, des traces de fénitrothion, probablement d'origine viticole. Toutefois, la contamination par les insecticides organophosphorés employés en viticulture est limitée dans l'espace, elle n'atteint pas le système des étangs centraux.

On détecte des résidus relativement importants de polychlorocamphane (PCC) fin mars 1971 dans les canaux de Fumemorte et de Roquemaure, et pendant la première quinzaine d'avril 1971 dans la partie Est du Vaccarès (Roselière de la Capellière). Cet insecticide est décelé aussi bien dans l'eau que dans les sédiments et les végétaux aquatiques, mais ultérieurement

TABLEAU VI

Résidus de pesticides et de PCB détectés dans l'Etang du Vaccarès.

| mg/m ³ | α HCH | γ HCH | PCB | Parathion | PCC | Fénitrothion |
|-------------------|--------|--------|--------|-----------|-----|--------------|
| I | Traces | Traces | 1,5 | | 30 | |
| II | | Traces | Traces | | | |
| III | Traces | Traces | | 0,08 | | |
| IV | | | | Traces | | |
| V | | | | | | |
| VI | Traces | 0,03 | | | | |
| VII | Traces | 0,01 | | | | |
| VIII | 0,01 | Traces | 0,42 | | | |

- I. Avant la campagne rizicole 1971 29-III-71.
 - II. Après les traitements des semis 24-VI-71.
 - III. A la fin de la campagne rizicole 1971 1-X-71.
 - IV. Après la submersion des vignes 26-I-72.
 - V. Avant la campagne rizicole 1972 23-III-72.
 - VI. Après les traitements des semis 27-VI-72.
 - VII. Après les traitements contre la pyrale 9-VIII-72.
 - VIII. A la fin de la campagne rizicole 1972 28-IX-72.
- Cases sans indication = produits non détectés.

on ne le retrouvera plus nulle part. Il semble que sa présence et sa détection dans le milieu aquatique fin mars - début avril 1971, soient dues à un concours de circonstances. Le PCC est assez abondamment utilisé pour le traitement des luzernières. Il est vraisemblable que des luzernières ayant subi un traitement post-hivernal, ont été lessivées par les eaux de ruissellement des fortes pluies qui tombèrent du 13 au 21 mars 1971 (61 mm) et que des résidus de PCC ont été entraînés vers les canaux de drainage et le Vaccarès où ils ont été détectés avant leur dilution dans la masse d'eau. Il s'agit là d'un passage fugace mais relativement massif d'un pesticide qui a pu être détecté à la faveur de prélèvements ponctuels d'échantillons effectués au moment opportun. Il est possible que de semblables apports, limités dans le temps, aient pu se produire pour d'autres pesticides et qu'ils nous aient échappé. Peut-être en est-il ainsi du dieldrine dont on a retrouvé des résidus dans les carpes du Vaccarès.

2°) LES SOLS ET LES SÉDIMENTS (tableau VII).

L'analyse par chromatographie gazeuse des sédiments des fonds de canaux et d'étangs a été rendue très délicate par la présence de soufre en quantités notables comprises entre 1 et 8 mg par kilogramme de terre humide pour les échantillons étudiés. Certes l'utilisation de fleur de soufre est à la base du traitement contre l'oïdium de la vigne, mais l'abondance de ce métalloïde dans les sédiments submergés où les phénomènes de réduction peuvent être intenses, fait penser qu'il trouve essentiellement son origine dans l'activité des thiobactéries capables de libérer du soufre à l'état natif.

Très peu de résidus identifiés comme provenant à coup sûr de pesticides ont été détectés dans les sédiments. On n'a toutefois pas pu y rechercher les herbicides azotés et ceux du groupe chlorophenoxy.

Malgré l'apport continu par le Rhône et les traitements agricoles, il est intéressant de noter l'absence à des doses détectables d'alpha et gamma HCH dans les sédiments du fond des canaux, des marais et des étangs. L'accumulation de ces produits dans le milieu physique naturel ne semble donc pas à redouter. Par contre les sols des rizières traitées au lindane, contiennent encore des traces de gamma HCH peu avant les labours de printemps.

Le parathion est présent dans la vase du canal de Fumemorte en juin 1971 après les traitements rizicoles. On le trouve également dans le Vaccarès après la campagne rizicole en octobre 1971 et même en janvier 1972, témoignage des traitements contre la pyrale du riz. Occasionnellement, la vase du canal de Fumemorte contient une assez forte dose de polychlorocamphane en mars 1971.

Les seuls résidus que l'on retrouve à des doses relativement élevées et de façon constante dans les sédiments de tous les

TABLEAU VII

*Analyses de sédiments.
Résultats en mg par tonne.*

| | CANAUX | | | MARAIS | | ETANG DU VACCARES | | |
|----------------|---------------|--------------|------------------------|-----------------|--------------|----------------------|--------------|-------------|
| | Fumemorte | | Saint- Ger- main | Saint- Seren | Saxi | | | |
| Dates | 24-III- 71 | 10-VI- 71 | 14-VI- 71 | 28-VI- 71 | 28-VI- 71 | 24-VI- 71 | 24-IX- 71 | 26-I- 72 |
| Soufre | 250 | 10 | 8.200 | 1.300 | 5.800 | 2.200 | + | 5.800 |
| HCH | | | | | | | | |
| PCB | + | 6 | 8 | 8 | 4 | 40 | 10 | 10 |
| Parathion | | 0,12 | | | | | Traces | 9 |
| PCC | 370 | | | | | | | |

Cases sans indication = produits non détectés.
+ = produits détectés mais non quantifiés.

milieux aquatiques, et dans les sols de rizières et de vignes sou-
mises à la submersion automnale, sont les PCB. L'accumulation
de ces organochlorés dans les sédiments ne fait pas de doute.

3°) LA VÉGÉTATION AQUATIQUE NATURELLE (tableaux VIII et IX).

Bien que les herbicides soient plus massivement utilisées que
les autres pesticides en Camargue, et intéressent tout particuliè-
rement la végétation, nous n'avons pas pu jusqu'à présent
entreprendre l'étude de leurs effets sur la végétation naturelle
pour des raisons déjà signalées plus haut (manque de temps pour
les herbicides du type chlorophenoxy, pas de technique analytique
appropriée pour le molinate et le propanil).

L'un de nous (A. V.) s'est tout particulièrement attaché à
l'étude des végétaux aquatiques des canaux de drainage (St-
Germain et Fumemorte) et du Vaccarès par les insecticides et
surtout par ceux de la classe des organochlorés. La recherche
des organophosphorés et plus particulièrement du parathion et
du fenitrothion a le plus souvent été gênée par l'entraînement
lors de la purification des extraits sur petite colonne de Florisil
de pigments végétaux (xanthophylles et caroténoïdes), qui empê-
che une concentration extrême comparable à celle réalisable dans
les analyses d'eau.

TABLEAU VIII
*Concentrations maximales des résidus dans les végétaux
(1971 et 1972)
Résultats exprimés en mg par tonne*

| Produits Végétaux | α HCH | | γ HCH | | PCB | | DDT | | Parathion | |
|------------------------------|-------|------|-------|------|------|-----|------|------|-----------|------|
| | MF | MS | MF | MS | MF | MS | MF | MS | MF | MS |
| Scirpes | 0,88 | 5,5 | 4,5 | 28 | 55 | 345 | 8,3 | 5,2 | | |
| Typha | 0,45 | 4,75 | 1,2 | 13,3 | 43,5 | 435 | 3 | 31,5 | 0,17 | 1,56 |
| Phragmites . . | 0,2 | 1,3 | 1,1 | 5 | 33,5 | 260 | + | + | | |
| Jones | 0,31 | 1,6 | 0,2 | 1,1 | 21 | 110 | | | | |
| Algues | 0,94 | 14,7 | 12,0 | 200 | 39,5 | 990 | + | + | | |
| Potamots (plantes) . . . | 2,6 | 29 | 3,9 | 41 | 40 | 300 | 4,3 | 43 | 0,15 | 4,5 |
| Potamots (fruits) | 1,16 | 4,5 | 7,5 | 29 | 43 | 149 | 11,4 | 44 | | |

TABLEAU IX
*Taux d'accumulation maximal dans les végétaux par rapport
à la concentration des résidus dans l'eau ambiante (1971 et 1972)*

| Produits Végétaux | α HCH | | γ HCH | | PCB | | DDT | Parathion |
|------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|----------|-----------|
| | MF | MS | MF | MS | MF | MS | //////// | //////// |
| Scirpes | 39 | 245 | 15 | 93 | 110 | 690 | //////// | //////// |
| Typha | 10 | 112 | 16 | 140 | 36 | 360 | //////// | //////// |
| Pragmites | 20 | 91 | 10 | 75 | 28 | 215 | //////// | //////// |
| Jones | 10 | 53 | 21 | 110 | 17 | 92 | //////// | //////// |
| Algues | 50 | 665 | 72 | 2400 | 79 | 1980 | //////// | //////// |
| Potamots (plantes) . . . | 52 | 480 | 85 | 945 | 43 | 390 | //////// | //////// |
| Potamots (fruits) | ≠600 | ≠2250 | 375 | 1450 | ≠450 | ≠1500 | //////// | //////// |

Cases sans indication = produits non détectés.
+ = produits détectés mais non quantifiés.
MF = matière fraîche — MS = matière sèche.

Les résultats obtenus jusqu'alors montrent qu'il y a réellement contamination de la végétation spontanée aquatique par les insecticides qui, pour la plupart, ont été détectés dans les eaux.

Les concentrations trouvées dans les végétaux varient suivant les espèces végétales et suivant les produits. Elles varient ainsi de 0,2 à 2,6 mg/tonne pour alpha HCH (rapportées à la matière fraîche) (1) de 0,2 à 12 pour le gamma HCH, de 21 à 55 pour les PCB. Elles sont de l'ordre de quelques mg/tonne pour le DDT.

Les végétaux contiennent aussi du parathion, mais à des concentrations nettement plus faibles que pour les organochlorés, ce qui est dû vraisemblablement à la faible rémanence du produit dans l'eau et à une hydrolyse rapide dans les plantes.

Nous avons aussi trouvé une concentration relativement importante de polychlorocamphane (450 mg/tonne) dans les potamots à la même époque où de fortes doses étaient détectées dans l'eau où ils ont été prélevés (mars-avril 1971).

Les taux d'accumulation qui sont les rapports des concentrations dans les végétaux sur les concentrations dans les eaux ambiantes varient suivant l'espèce et la nature des produits, ils varient de 10 à 100 (matière fraîche) et de 50 à 2500 (matière sèche). Alpha et gamma HCH sont généralement accumulés à un taux plus bas que les PCB. Parmi les espèces végétales ayant fait l'objet d'analyses, trois semblent pouvoir concentrer et accumuler plus que les autres, ce sont les potamots, les scirpes et les algues du genre *Enteromorpha*. Il est prématuré de dire si les plus ou moins fortes concentrations rencontrées sont inhérentes aux espèces ou bien à des stades physiologiques différents, mais il semble bien que certains végétaux, et notamment les algues, soient plus réceptifs que d'autres et pourraient servir comme révélateurs de pollution des eaux par certains produits s'y trouvant à des doses inférieures au seuil de détection.

La fixation des pesticides par les végétaux relève de phénomènes physiologiques complexes qui ne sont pas encore bien définis. Une simple adsorption à la surface de la plante n'est pas suffisante pour expliquer les concentrations rencontrées. Les analyses que nous avons faites sur des plantes semi-immergées (*Scirpus*, *Typha*) semblent montrer qu'il y a absorption des produits. En effet les concentrations dans les parties aériennes de ces plantes sont de quelques fois supérieures à celles des parties aquatiques. De même, les concentrations sont nettement plus

(1) Dans les tableaux VIII et IX les résultats ont été exprimés par rapport à la matière fraîche et à la matière sèche. L'expression par rapport à cette dernière permet de comparer les espèces végétales entre elles, mais les concentrations exprimées par rapport à la matière fraîche ont une réalité plus biologique. Sauf mention contraire, les teneurs signalées dans le texte sont toujours exprimées par rapport à la matière fraîche.

élevées dans les fruits de potamots que dans la partie végétative. Les processus d'absorption doivent mettre en jeu non seulement l'appareil racinaire, mais aussi toute la surface immergée des plantes.

Des variations de concentration dans le temps ont été mises en évidence par l'analyse de potamots d'une population homogène. Ces variations ne semblent pas étroitement liées aux concentrations de l'eau ambiante et pourraient être la résultante de différents processus comme l'absorption, la dégradation, la résorption. Leur orientation vers une augmentation ou une diminution pourraient s'expliquer par une prédominance variable dans le temps de l'un ou de plusieurs des différents facteurs physiques et physiologiques mis en jeu.

4°) LA FAUNE (tableau X).

Notre étude de la contamination de la faune camarguaise par les résidus de produits phytosanitaires est à ses débuts.

Nous nous bornerons à commenter ici les résultats d'analyses concernant une carpe (*Cyprinus carpio*) pêchée dans le Vaccarès et apparemment en bonne santé (poids : 2 100 g ; longueur : 52 cm), et un œuf de mouette rieuse (*Larus ridibundus*) trouvé sur une colonie camarguaise avec une malformation de la coquille.

En ce qui concerne la carpe, on constate qu'elle a considérablement accumulé les organochlorés contenus dans l'eau de l'étang (plusieurs milliers de fois). L'isomère delta de l'HCH est d'origine rhodanienne (pollution industrielle).

TABLEAU X

*Résidus organochlorés détectés dans une carpe du Vaccarès
et dans un œuf de Mouette
Résultats en mg par kg
Analyses S. ILLES*

| | CARPE (chair) | ŒUF DE MOUETTE |
|-----------------------------|---------------|----------------|
| α HCH | 0,03 | |
| γ HCH | 0,01 | 0,15 |
| δ HCH | 0,05 | |
| DDT | | 5,7 |
| DDE | 0,02 | 3,8 |
| Polychlorobiphényles | 2,0 | 0,8 |
| Polychloroterphényles | ni | 23 |
| Dieldrine | 0,03 | |

Aucune mention = produits non détectés.
ni = produits non identifiés.

Pour l'œuf de mouette rieuse, le cas est quelque peu différent. La mouette rieuse qui niche en Camargue n'est pas strictement inféodée au delta pour son alimentation. C'est une espèce opportuniste qui, suivant les circonstances, se nourrit aussi bien dans les étangs et les rizières camarguaises que sur la décharge municipale de Marseille située en Crau (P. ISENMANN, com. or.). La malformation de l'œuf analysé est incontestablement liée à la très forte teneur de DDT, de DDE et surtout de polychloroterphényles, ces derniers, jamais détectés à l'intérieur du delta témoignent d'une intoxication extracarmaguaise de l'oiseau.

IV/ LES PESTICIDES MINÉRAUX.

Tout comme les organiques, les pesticides minéraux sont abondamment employés en Camargue : sels de cuivre en viticulture et en riziculture, arsénite de sodium et arséniates de plomb en viticulture. La présence de doses relativement importantes d'arsenic, de cuivre et de plomb dans les canaux, étangs et marais et dans les végétaux aquatiques nous avait fait penser tout d'abord à une pollution d'origine agricole, mais des analyses faites sur des sols de vignes et surtout sur un sol halomorphe n'ayant jamais porté de culture nous ont révélé que les sédiments camarguais recèlent depuis leur dépôt par le Rhône suffisamment d'arsenic, de cuivre et de plomb, pour expliquer la présence de ces éléments jusque dans le Vaccarès et ses étangs inférieurs. Sans doute y a-t-il un apport d'origine agricole, mais il n'est pas quantifiable et sans commune mesure avec l'apport naturel.

V/ REFLEXIONS SUR LA POSSIBILITE DE CONCILIER LES ACTIVITES ECONOMIQUES ET LA CONSERVATION DES MILIEUX NATURELS EN CAMARGUE.

Les résultats acquis au cours de ces deux années d'études, quoique fragmentaires, montrent clairement que les différents milieux camarguais et notamment la Réserve Naturelle Zoologique et Botanique, ont à souffrir d'une pollution chimique ayant l'eau pour vecteur. Des travaux entrepris par ailleurs montrent que cette pollution ne se limite pas aux seuls produits phytosanitaires ; elle concerne également les hydrocarbures (C. CAUSSE, R. MESTRES, 1972), les détergents et d'autres déchets industriels.

En ce qui concerne les substances organochlorés de synthèse, nous avons mis en évidence le dangereux phénomène de concentration aux différents niveaux de la chaîne alimentaire.

Cette pollution est liée à la pratique, ou plutôt à une certaine pratique de l'irrigation des cultures, notamment des rizières et trouve son origine soit dans l'eau du Rhône elle-même, soit dans les traitements agricoles. Elle est également imputable, pour une

part non négligeable, aux aménagements d'étangs et de marais pour la chasse au gibier d'eau. Ces aménagements consistent à remplir les plans d'eau avant l'ouverture, et à les vider par gravité après la fermeture de la chasse. L'eau utilisée est puisée dans le Rhône aussi bien que dans les canaux de drainage des rizières. C'est donc, dans tous les cas, de l'eau douce ou douceâtre et plus ou moins polluée qui est introduite sur les plans d'eau, et qui après usage est en partie écoulée au Vaccarès.

La contamination des milieux naturels de Camargue n'est encore ni catastrophique ni irréversible, mais elle est préoccupante surtout compte tenu des tendances culturelles actuelles en riziculture, tendances qui consistent à recourir de plus en plus à l'emploi des herbicides et insecticides de synthèse et à utiliser un volume d'eau excessif, ce qui accroît considérablement la masse des retours d'irrigation déversés dans les étangs centraux de la Camargue. De même, l'aménagement des grandes chasses évolue vers une augmentation du volume d'eau utilisée.

Il n'est pas dans notre intention de faire le procès des propriétaires des grandes chasses camarguaises, et encore moins celui des riziculteurs. Nous savons qu'ils ont leurs problèmes et ne peuvent être tenus pour responsables de la pollution de l'eau qu'ils puisent dans le Rhône. Toutefois, nos recherches nous autorisent à dire que si le déséquilibre hydraulique du delta persiste et si les pratiques culturelles n'évoluent pas dans le sens d'une moindre pollution, à moyen terme la Camargue tout entière risque d'être gravement « intoxiquée » et toute mesure conservatoire superflue.

Quels sont les remèdes, qui, apportés à la situation actuelle, permettraient d'éviter une telle catastrophe ?

A notre avis, ils sont de deux ordres :

1°) Pour améliorer la qualité chimique de l'eau des étangs mis en réserve, il faut en augmenter la salure et supprimer l'apport des polluants, ce qui, sur le plan pratique, revient à écarter de ces étangs *l'intégralité* des eaux de drainage des cultures ou de toute autre origine artificielle en les rejetant au Rhône ou à la mer. Cela serait rendu possible par l'extension du réseau d'assainissement dont nous avons déjà mentionné l'existence, aux propriétés riveraines du Vaccarès et aux bassins de Fumemorte et de Roquemaure, et par le fonctionnement à plein régime des stations de refoulement des eaux usées au Rhône. En ce qui concerne ce dernier point, une économie de fonctionnement substantielle pourrait être réalisée en proscrivant l'« arrosage à la surverse » des rizières qui, sans aucun avantage pour les cultures, accroît considérablement le volume des retours d'irrigation. L'un de nous (P. H.) a calculé que la pratique de l'« arrosage à la surverse » entraîne le gaspillage de 10 000 à 15 000 m³ d'eau par hectare et par an. C. HUGUET (1969) aboutit à un résultat très voisin.

2°) Le parachèvement du réseau d'assainissement conduirait sans aucun doute à une amélioration très nette et relativement rapide de la qualité chimique des eaux des étangs mis en réserve, mais, s'il ne s'accompagnait pas d'un certain changement dans les techniques culturales, le danger de pollution par les pesticides persisterait pour le reste de la Camargue et notamment pour les rizières elles-mêmes qui sont abondamment exploitées par l'avifaune. Quant au Rhône, il verrait sa charge polluante augmenter d'Arles à la mer.

La Camargue offre à la culture du riz des conditions climatiques limites, surtout pour les variétés à cycle long. Ces conditions ne permettent à la plante de triompher aisément de ses parasites animaux et végétaux que si elle est cultivée dans un état optimal de résistance. Or il faut bien reconnaître que la culture en semis directs ne favorise guère la résistance naturelle du riz, qui ne peut surmonter les obstacles qu'à grand renfort d'herbicides et d'insecticides. Les dépenses engagées pour lutter contre les ennemis du riz par la voie chimique sont de plus en plus lourdes, et l'efficacité des herbicides jusqu'alors employés est souvent aléatoire. Actuellement, compte tenu du prix de revient et du moins bon rendement des semis directs, il ne semble pas que ceux-ci soient économiquement plus rentables que la pratique du repiquage précédé d'un désherbage mécanique et même suivi d'un désherbage manuel pour les rizières particulièrement infestées. Ces techniques culturales retiennent évidemment la faveur de ceux que la conservation de la Camargue préoccupe, puisqu'elles présentent l'avantage d'être beaucoup moins polluantes, les traitements phytosanitaires étant limités aux seules pépinières.

Sans doute, compte tenu de l'évolution économique de l'Espagne, le recrutement des repiqueurs est-il plus difficile aujourd'hui qu'il y a dix ans, mais dans ce cas la mécanisation ne pourrait-elle pas être envisagée comme solution à la pénurie de main-d'œuvre ?

Si la Camargue agricole conserve sa vocation de « terre du riz » ou si des cultures de remplacement s'installent, le delta du Rhône ne pourra garder toute sa valeur biologique que si l'on met tout en œuvre pour minimiser l'emploi des produits phytosanitaires. Nous ne sous-estimons pas que sur le plan pratique, cela pose un certain nombre de problèmes délicats à résoudre.

RESUME

Les auteurs font état des résultats qu'ils ont obtenu au terme de deux années de recherches sur la contamination des milieux aquatiques camarguais par les résidus de produits phytosanitaires.

En Camargue, les techniques culturales employées, notamment en riziculture : irrigation intensive et extensive, lutte chimique contre les parasites, menacent de pollution l'ensemble des milieux aquatiques et plus particulièrement les étangs de la Réserve Naturelle Zoologique et Botanique. Les polluants sont d'origine rhodanienne ou proviennent des traitements agricoles, herbicides et insecticides.

L'étude concernant les herbicides est délicate à mener et les résultats obtenus jusqu'à présent sont trop fragmentaires pour pouvoir être interprétés.

Des résultats plus complets concernant les insecticides montrent que la contamination de l'eau est encore très faible, mais que l'accumulation des résidus organochlorés aux différents échelons trophiques des biocénoses présente un réel danger.

Les pesticides les plus fréquemment rencontrés sont alpha HCH (d'origine rhodanienne), gamma HCH (d'origine rhodanienne et agricole). La présence à des doses décelables de DDT est moins courante. D'autres résidus ne sont soupçonnés dans l'eau que du fait de leur présence dans les tissus animaux (diéldrine). D'autres enfin ne sont décelés qu'en période de traitement des cultures (les organophosphorés et notamment le parathion), ou à la faveur de circonstances particulières (polychlorocamphane).

Les polychlorobiphényles présents dans le milieu posent un problème. Leur origine est probablement mixte (Rhône et spécialités commerciales de pesticides agricoles où ils servent d'adjuvant). Ces organochlorés très stables sont accumulés à des taux relativement importants aussi bien dans les sédiments que dans les végétaux et les animaux aquatiques et présentent un réel danger pour la conservation des milieux naturels.

La conciliation de l'agriculture et de la conservatoir de la nature en Camargue est subordonnée à deux conditions : le rejet au Rhône de toutes les eaux de drainage des cultures jusqu'à présent déversées dans le Vaccarès et la recherche de pratiques culturales moins polluantes que celles actuellement employées.

SUMMARY

Results are given of a two year study on the pollution by pesticide-residues of the aquatic environment in the Camargue.

The agricultural techniques employed, notably in rice-growing (intensive and extensive irrigation, chemical control of pests) threaten the whole aquatic environment in the Camargue with pollution, particularly the lakes situated in the « Réserve Natu-

relle Zoologique et Botanique ». These pollutants originate from the Rhône river and from agricultural treatments using herbicides and insecticides.

Herbicide studies have proved difficult to conduct and results obtained to date are too fragmentary to allow a clear interpretation.

More detailed results on insecticides show that water pollution is still very low but that the accumulation of organochlorides at the different trophic levels of the ecosystem presents a real threat.

The pesticides most frequently recorded are alpha HCH (BHC) (Rhône origin) and gamma HCH (Rhône and agricultural origin). Detectable doses of DDT are less frequently recorded. Other residues are only suspected in water because of their presence in animal tissues (dieldrin). Lastly, others are only revealed during the period when crops are treated (organophosphates and especially parathion) or as a result of very particular circumstances (polychlorocamphene).

The presence of polychlorobiphenyls in the environment raises a special problem. They probably have a mixed origin (Rhône and commercial types of agricultural pesticides where they serve as an adjuvant). These very stable organochlorides are accumulated at relatively high rates in sediments as well as in aquatic plants and animals, and present a real danger to the conservation of natural habitats.

The conciliation of agriculture and nature conservation in the Camargue is dependent on two conditions : return into the Rhône of all run-off water from crops, at present discharged into the « Etang du Vaccarès », and research into cultural methods which produce less pollution than those in current use.

BIBLIOGRAPHIE

- ACTA-FNGPC (1972). — *Index des produits phytosanitaires*. Neuvième Edition.
- CAUSSE, C. & MESTRES, R. (1972). — Etude de la pollution des eaux par les hydrocarbures. *Trav. Soc. Pharmacie Montpellier*, 32, 4, 301-308.
- HEURTEAUX, P. (1964). — Première étape vers l'établissement du bilan hydrologique de la Camargue : étude expérimentale du bilan de l'eau des rizières. *La Terre et la Vie*, 18 : 269-293.
- HUGUET, C. (1969). — La consommation de l'eau en rizière. X^{mes} journées du riz. *Bull. Inf. Riziculteurs de France*, n° 120.
- MESTRES, R. (1972). — L'analyse des résidus de pesticides. *Actualités de chimie analytique*. 21^e Sér., Masson éd., Paris.
- MESTRES (R.), LEONARDI, G., CHEVALLIER, Ch. & TOURTE, J. (1969). — Méthode de recherche des résidus de pesticides dans les eaux naturelles, 1^o Méthode d'analyse générale. *Ann. Fals. Exp. Chim.*, 685, 75-85.
- MESTRES, R., LEONARDI, G., CHEVALLIER, Ch. & DUDIEUZERE, M. (1969). — *Idem*. 2^o Recherche des résidus de désherbants du type chlorophénoxy. *Ibid.* 686, 214-220.

- MESTRES, R. & DUDIEUZERE, N. (1969). — Procédé simple d'élimination du soufre des extraits. *Trav. Soc. Pharm. Montpellier*, 29 : 93-96.
- MESTRES, R. & ILLES, S. (1972). — Etude de la pollution des eaux du Petit Rhône par les pesticides et mortalité en pisciculture. *Trav. Soc. Pharm. Montpellier*. Séance du 28 juin 1971.
- VAQUER, A. (1971). — *L'analyse des résidus de pesticides par la chromatographie en phase gazeuse. Les techniques employées. Application à la végétation naturelle des milieux camarguais et essai d'interprétation des premiers résultats*. D.E.A. Ecologie. Un. Sc. Techn. Languedoc Montpellier. Document polycopié.

ANNEXE

COMPOSITION CHIMIQUE ET TOXICITE (*) DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES CITES DANS LE TEXTE (d'après l' « Index des produits phytosanitaires » de l'ACTA)

| A - INSECTICIDES | | DL 50 |
|-----------------------------|---|---------|
| <i>I - Organophosphorés</i> | | |
| PARATHION | thiophosphate de 0,0'-diéthyle et de 0-(p-nitrophényle) | 3,6 |
| PROTHOATE | dithiophosphate de 0,0-diéthyle et de S-(isopropyl-carbamoyl-méthyle) | 9 |
| PARATHION-METHYL | thiophosphate de 0,0-diméthyle et 0-(p-nitro-phényle) | 15 à 20 |
| AZINPHOS-METHYL | dithiophosphate de 0,0-diméthyle | 17,5 |
| CARBOPHENOTION | dithiophosphate de S-(p-chlorophenylthio-méthyle) et de 0,0-diéthyle | 30 |
| DIETHION | bis-(dithiophosphate 0,0 diéthylique) de S, S'-méthylène | 113 |
| DIMETHOATE | dithiophosphate de 0,0-diméthyle et de S-(méthyl-carbamoyl-méthyle) | 130 |
| TRICHLORFON | ... (thrichloro-2,2,2, hydroxy-1-éthyl) phosphonate de diméthyle | 450 |
| FENITROTHION | .. thiophosphate de 0,0-diméthyle et de 0-(méthyl-3 nitro-4 phényle) | 500 |
| <i>II - Organochlorés</i> | | |
| DIELDRINE | endo-exo hexachloro-1,2,3,4,10,10 epoxy-6,7 octahydro-1,4,4a,5,6,7,8,8a diméthano-1 : 4,5 : 8 naphthlaène | 34 |
| ALDRINE | endo-exo hexachloro 1,2,3,4,10,10 hexahydro-1,4,4,5,8,8a diméthano-1 : 4a,5 : 8 naphtalène | 49 |
| HEPTACHLORE | ... heptachloro- 1,4,5,6,7,8,8, tetrahydro- 3a, 4,7,7a méthano-4 : 7 indène | 100 |
| POLYCHLORO-CAMPHANE | mélange de C ₁₀ H ₁₂ Cl ₆ et C ₁₀ H ₁₂ Cl ₄ (structure chimique mal connue) | 90 |
| DDT ou ZEIDANE | . ensemble des isomères de trichloro-1,1,1 bis (chlorophényl)-2,2 ethane | 113 |
| LINDANE | au moins 99 % du stéréoisomère gamma de l'hexachloro-1,2,3,4,5,6 cyclohexane (HCH) | 190 |

(*) DL 50 pour le rat par ingestion en mg/kg.

| | | |
|------------------|--|--------|
| HCH | ensemble des stéréoisomères de l'hexachloro-1,2,3,4,5,6 cyclohexane | 1 250 |
| TETRADIFON | tétrachloro-2,4,4,5 diphenyle sulfone | 5 000 |
| III - Carbamates | | |
| METHOMYL | S-méthyl N (méthyl-carbamoyl(oxy)thiocitimidate) | 20 |
| IV - Minéraux | | |
| ARSENITE | | |
| DE SODIUM | AS ₂ O ₃ .Na ₂ O | 10 |
| ARSENIATES | | |
| DE PLOMB | (AsO ₃ .PbH) + (AsO ₃) ₂ Pb ₃ | 10 |
| B - HERBICIDES | | |
| 2,4 D | acide (dichloro-2,4 phenoxy) acétique | 375 |
| 2,4 MCPA | acide (chloro-4 méthyl-2 phenoxy) acétique | 375 |
| MCPP | | |
| ou MECOPROP .. | acide (chloro-méthyl phenoxy)-2 propionique | 650 |
| 2,4,5 TP | acide (trichloro-2,4,5 phenoxy)-2 propionique | 650 |
| MOLINATE | hexaméthylène-imino carbothiolate d'éthyle | 720 |
| PROPANIL | N-(dichloro-3,4 phényl) propionamide | 1 400 |
| SIMAZINE | chloro-2bis (éthylamino)-4,6 triazine-1,3,5 | 5 000 |
| AMINOTRIAZOLE . | amino-3,1 H-triazole-1 2,4 | 24 600 |
| C - FONGICIDES | | |
| NABAME | N,N'-éthylène bis (dithiocarbamate) disodique | 395 |
| CARBATENE | 80 % de poly (éthylène bis-thiurame disulfure) et 20 % de poly (éthylène bis-thiurame monosulfure) | 2 000 |
| ZINEBE | polymère de N,N'-éthylène bis (dithiocarbamate) zincique | 5 200 |
| MANCOZEBE | Zn ionique + éthylène bis-thiocarbamate de Mn | 6 750 |
| MANEBE | N,N'-éthylène bis (dithiocarbamate) manganéux | 7 500 |
| BENOMYL | ester méthylique de l'acide 1- (butyl-carbamoyl)-2 benzimidazole carbamique | 9 600 |
| FOLPEL | N-(trichlorométhylthio) phtalimide | 10 000 |